



CZT

(... questi bistrattati ...)

rivelatori per radiazioni X e Gamma

Milano, 9 Ottobre 2008

E. M. Quadrini

# Perchè considerare i rivelatori CZT ?

Competitive performances	(resolution [time, space, energy], stopping power)
<b>Good behaviour at environmental conditions</b>	(no cryogenics or pressurization)
High stability in Time	(simplified design and control)
High linearity versus Temperature and Bias	(simplified data analysis)
Direct photon-signal conversion	(no optical contacts, fibers ,glues: higher efficiency)
Soft Gamma Ray Range	(from 10 to 400 keV)
Flexibility	( Many configurations trough photo-lithograph process)
Modularity	(cm <sup>2</sup> to m <sup>2</sup> focal plane)
<b>Wide applicability</b>	(all non destructive/not invasive inspections in many
fields:	medical, security, custom,
metallurgic, building)	

## Potential Italian detectors source

**low cost customization, easy procurement...and  
planned development time 2 years, for the following**

Target for an end to end domestic CZT detector system:

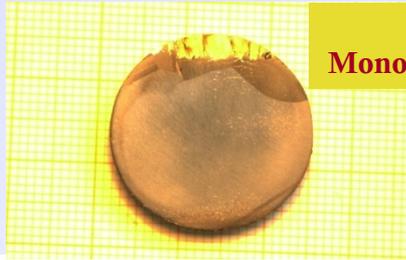
**Resolution: Space** : < mm<sup>3</sup>    **Time**: few tens of µs    **Energy** : <2% @100keV

**Energy range** : 7- 400keV **single layer** → Compton structures under evaluation

**Efficiency** : up to 80%    up to the MeV region with proper structures

# Davvero possiamo invocarne l'Italianità ?

Crescita dei cristalli



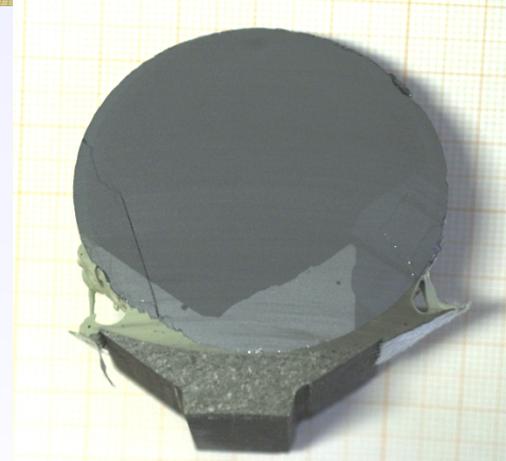
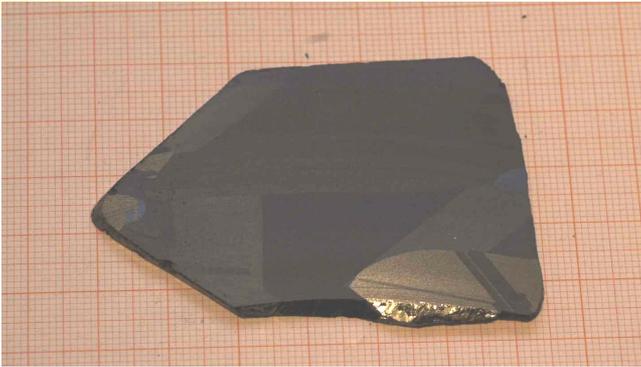
2006  
Monocristallo 1"



Cristalli da 2"



2008  
Monocristalli  
da vari cm



## Piccola Introduzione

### I CZT possono essere utilizzati come rivelatori 3D e con quali caratteristiche ?

*La risposta si baserà sulle evidenze ottenibili con i dati presi per mezzo del prototipo a disposizione. I risultati presentati sono preliminari e necessitano di verifiche accurate, ma appaiono interessanti. Per lo scopo di questa presentazione le caratteristiche del prototipo assumono un'importanza relativa. Basterà descrivere la filosofia di acquisizione dei segnali.*

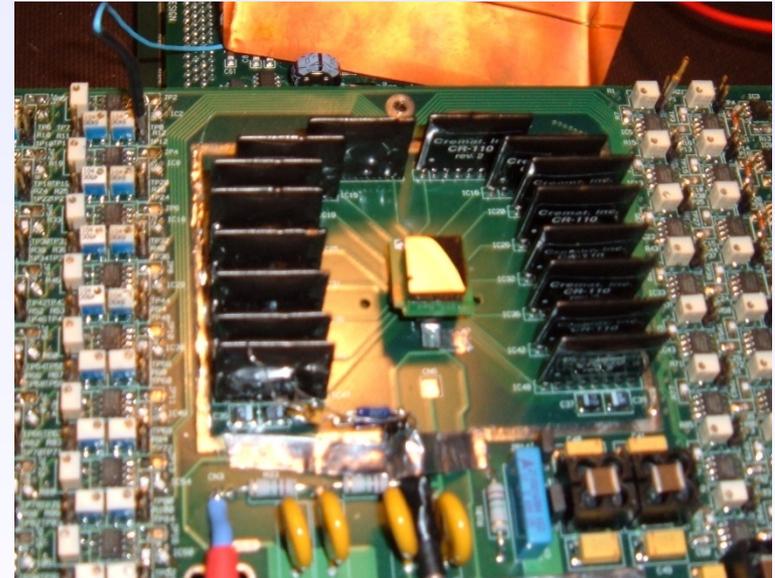
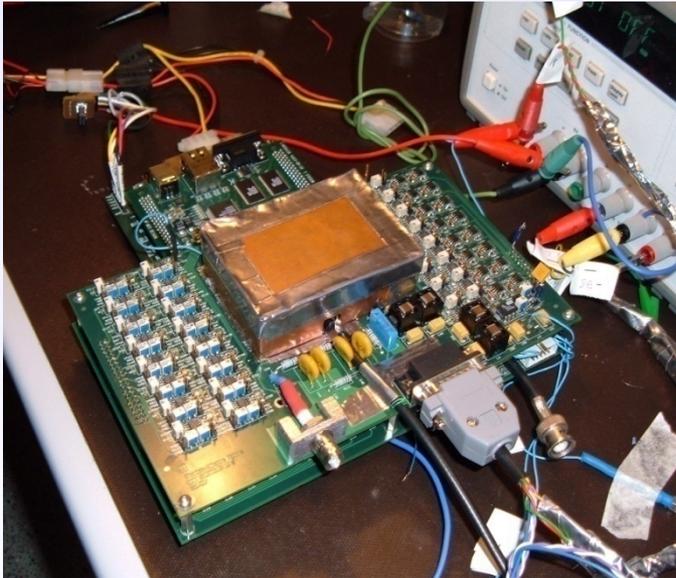
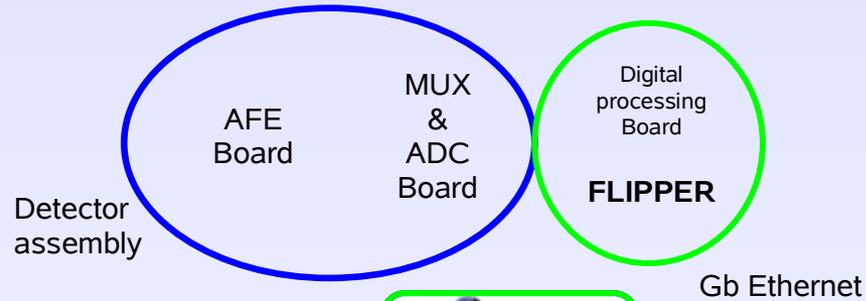
Il rivelatore in uso consiste in 16 pixels suddivisi in 4 famiglie di 4 pixels ciascuna.

I pixel appartenenti alla stessa famiglia non sono contigui e se attivi si escludono a vicenda.

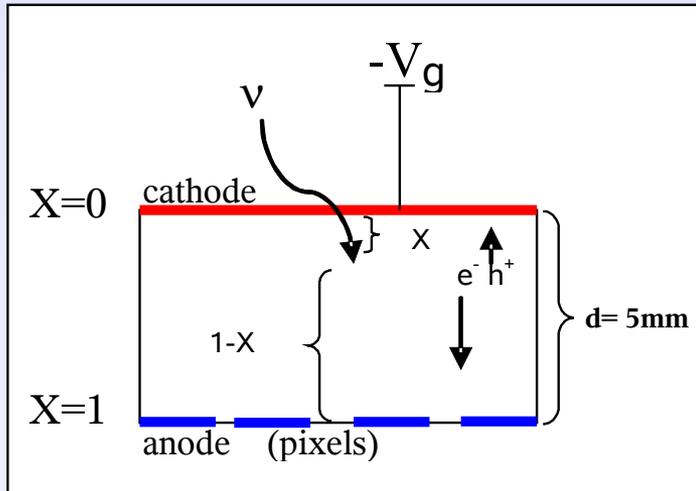
L'elettronica di Front End è progettata in modo da leggere in parallelo fino a quattro segnali provenienti dalle 4 famiglie

0	4	8	14
2	6	10	12
1	5	9	15
3	7	11	13

# Elettronica di lettura del segnale (Front End)



## Funzionamento del rivelatore



If  $Q_s$  charges are originally generated at some relative depth  $x$ , the current will include two components, due to electrons and holes.

They move in opposite directions and with different velocities  $v_e, v_h$ . Each component ends when respective charge carriers reach the electrode.

Before reaching the electrode, the number of charge carriers will change in time as they get trapped.

All experimental data are from eV Products CZT crystals, with:

**Thickness:** 5mm;

**Format:** 4x4 pixels;

**Pixel size:** 2mm;

**Pixel pitch** 2.1mm,

General figures from eV Products website:

**Resistivity:**  $3 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$

$(\mu \cdot \tau)_e$ :  $(3-5) \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V}$

$(\mu \cdot \tau)_h$ :  $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V}$

$$i(t) = i_e(t) + i_h(t)$$

Using the Shockley-Ramo theorem we calculate the induced current through the “weighting field”  $F_w$

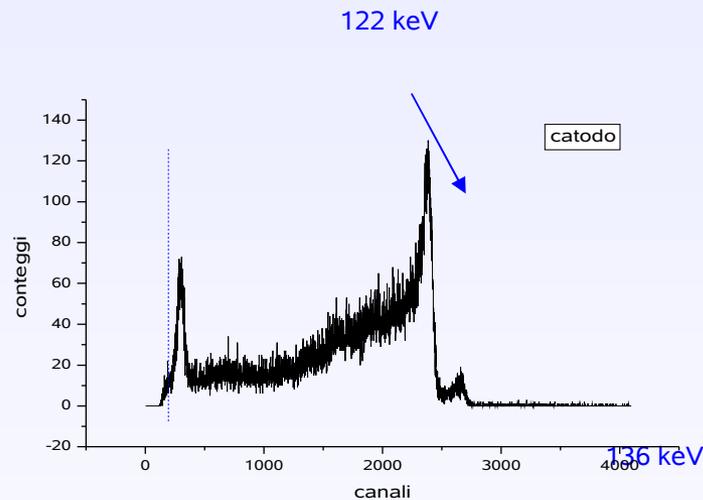
$$i = q \cdot v \cdot \vec{F}_w$$

the signal amplitude is

$$V(t) = i(t) \otimes H(t)$$

# PROBLEMI: Effetto tailing

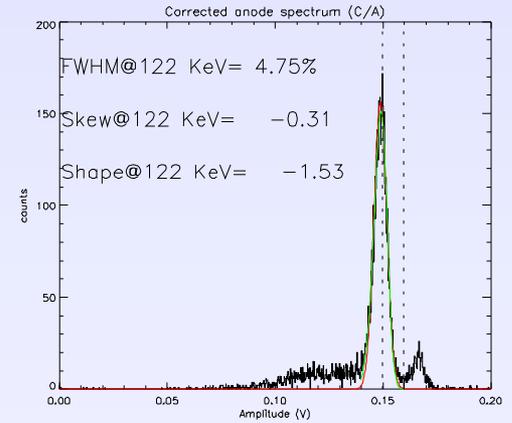
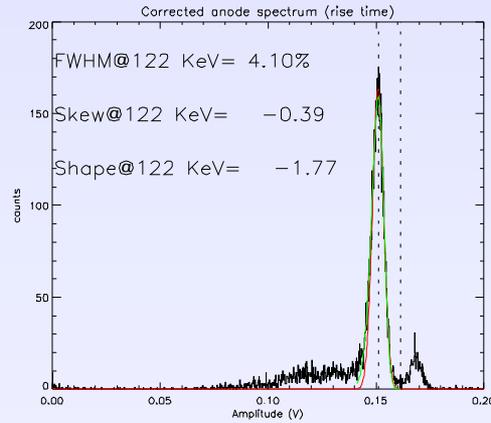
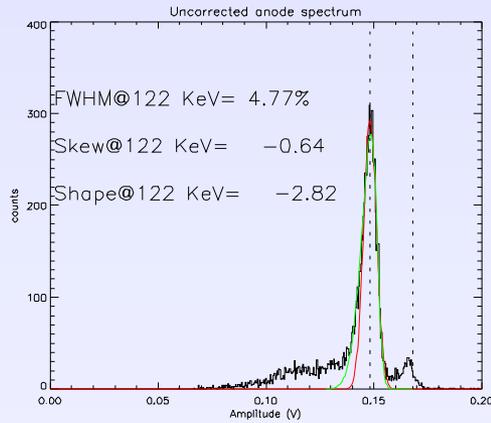
- Le lacune vengono facilmente intrappolate nel cristallo
- L'impulso generato ha ampiezza variabile in funzione della profondità dell'interazione
- Parte dei segnali sono interpretati come fotoni di energia inferiore a quella rilasciata
- Il fotopicco presenta un tipico allargamento a sinistra, detto effetto tailing, che deteriora la risoluzione energetica



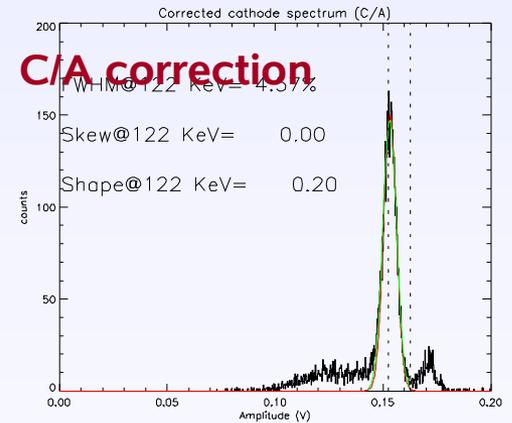
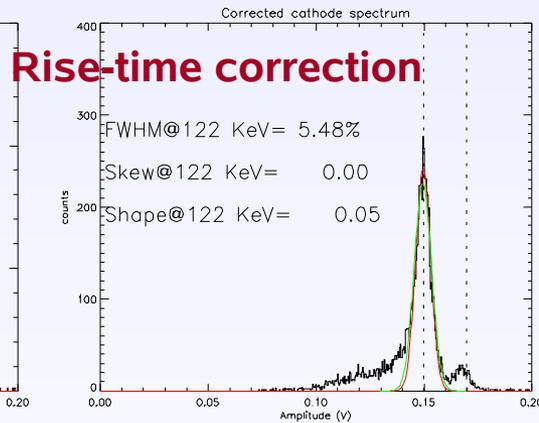
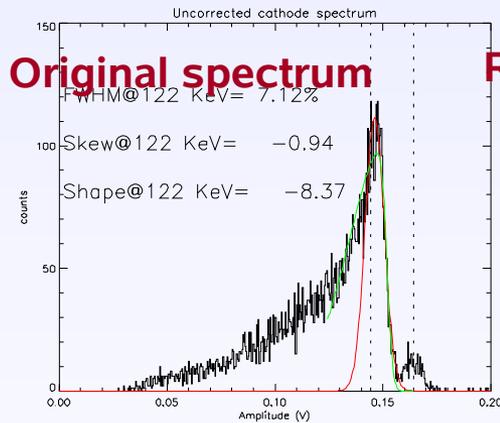
L'effetto tailing può essere corretto se si conoscono per ogni segnale ampiezza e profondità di interazione

# Risultati Pubblicati: correzione SW

pixel

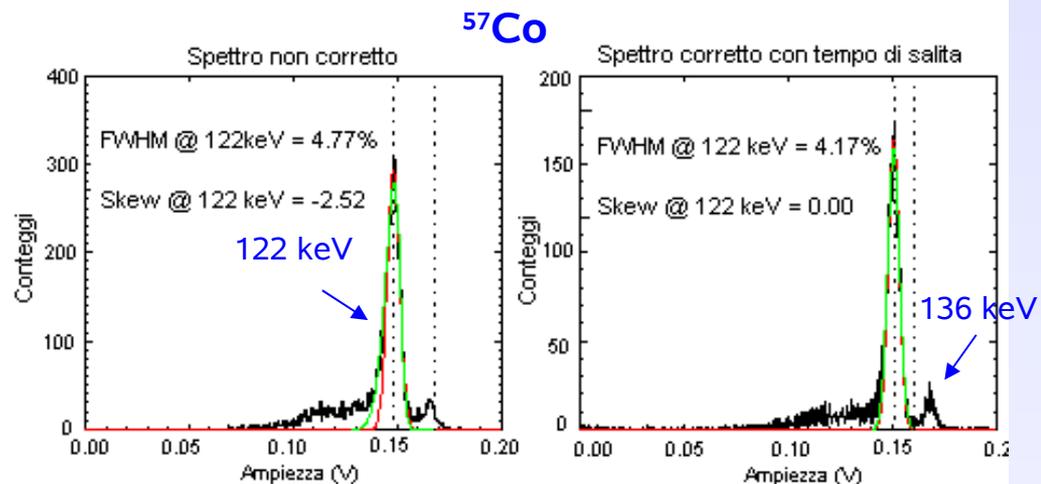
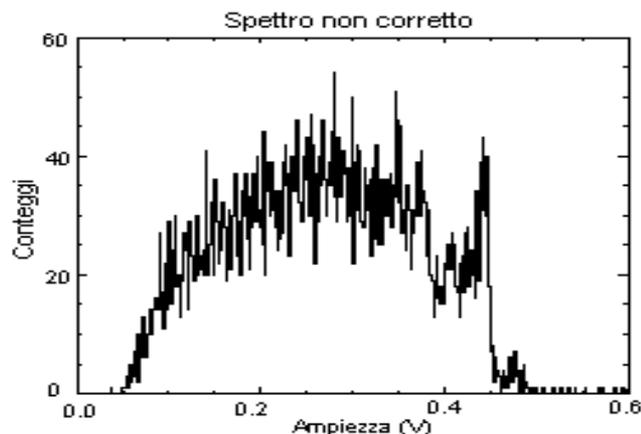


cathode

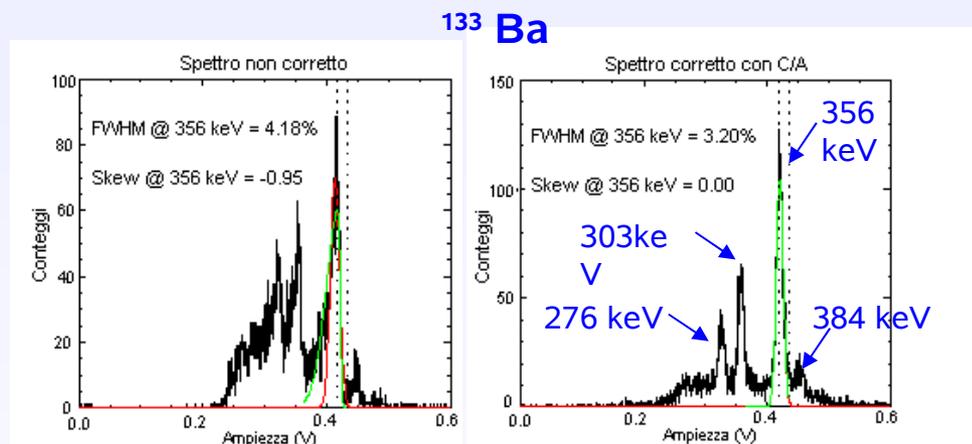
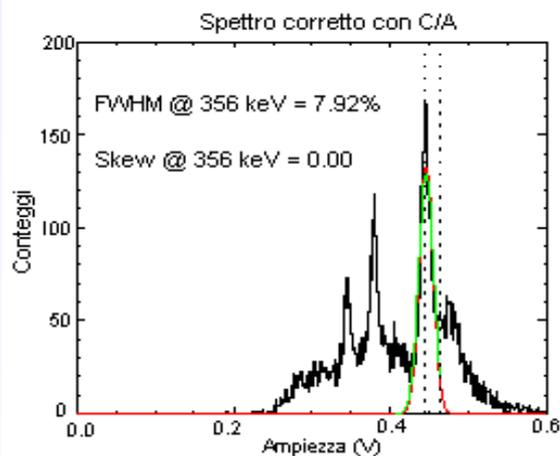


# Risultati pubblicati

Pixel signal, anode



Grid signal, Cathode

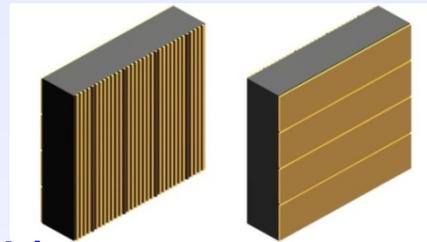
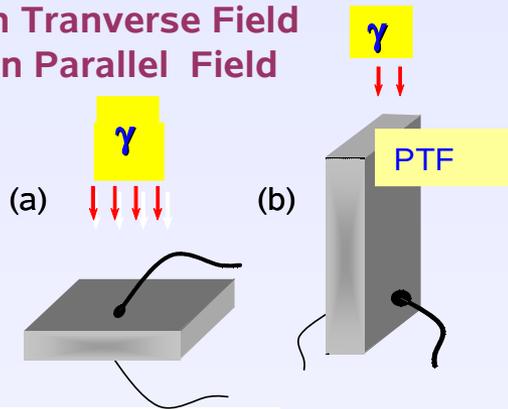


S. Monti Tesi

## Torniamo alla domanda : Si possono usare come rivelatori 3D?

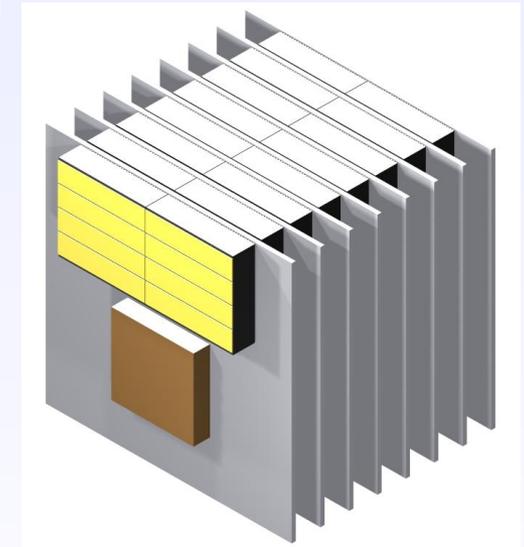
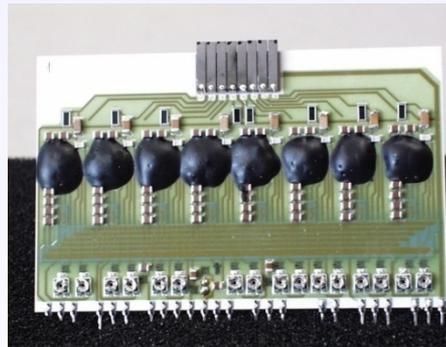
Classicamente, per individuare la posizione di un evento si realizza di una griglia di sensori in grado di definire le coordinate spaziali relative all'evento. Come esempio il progetto PRIN INAF 2007, PI Caroli (IASF-BO).

PTF= Photon Tranverse Field  
PPF= Photon Parallel Field



**Unità base:**  
anodo (L): 32 strisce 0.15 mm  
cathode (R): 4 strip of 2.4 mm

**Il modulo lineare**  
2 unità base (giallo) e 6 catene CSP (brown) su supporto di allumina



**Prototipo rivelatore 3D**

## L'attività in corso:

L'altro metodo per poter risalire, per ogni segnale, ai parametri fondamentali

$Q_s$  = numero delle cariche generate dall'interazione e  
 $x$  = profondità di interazione

Insieme a quelli caratteristici del rivelatore

$\mu_{e,h}$  = mobilità dei portatori

$\tau_{e,h}$  = tempo di cattura dei portatori

Consiste nell' acquisire il massimo delle informazioni contenute dal segnale. Il nostro Front End è stato progettato esattamente per questo scopo.

## Modello matematico semplificato (M.Uslenghi)

$$i_e(t) = \begin{cases} N_e(t) \cdot \frac{v_e}{d} = \frac{Q_s}{d^2} \mu_e V_g e^{-\frac{t}{\tau_e^c}} & 0 < t < t_{drift,e} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$i_h(t) = \begin{cases} N_h(t) \cdot \frac{v_h}{d} = \frac{Q_s}{d^2} \mu_h V_g e^{-\frac{t}{\tau_h^c}} & 0 < t < t_{drift,h} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$\tau_e$  and  $\tau_h$

electrons and holes trapping times

$\Phi_w$  = weighting potential

$x$  = distance from electrode

$R$  = pixel radius

$H(t)$  = response function of the electronics readout system

$\tau_{fall}$  = preamplifier fall time

$\tau_{rise}$  = amplifier rise time

$$F_w(x) = -\frac{\partial \Phi_w(x)}{\partial x} = R^2 \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\left[ (x + 2kd)^2 + R^2 \right]^{3/2}}$$

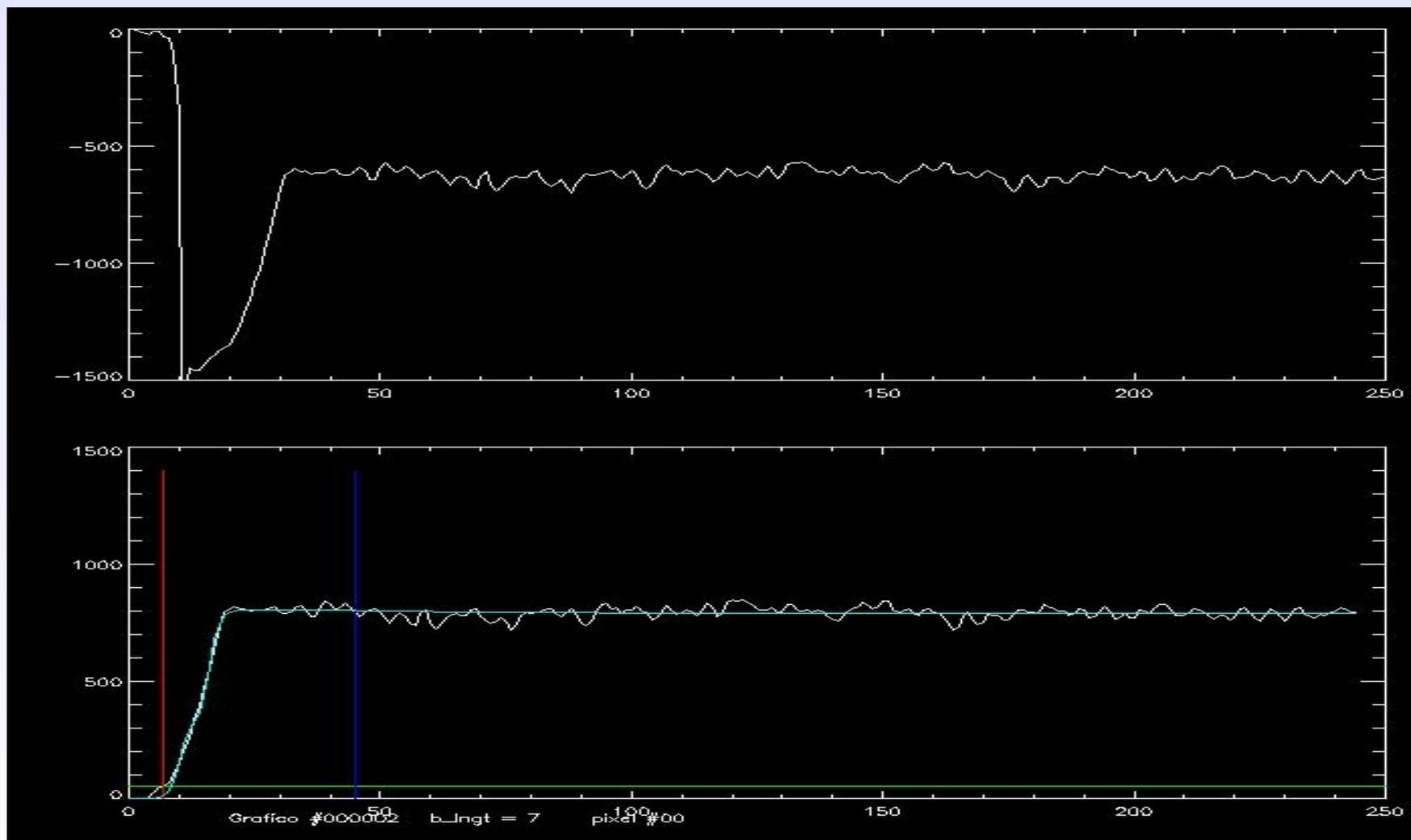
$$H(t) = \frac{\tau_{fall}}{\tau_{fall} - \tau_{rise}} \left( e^{-\frac{t}{\tau_{fall}}} - e^{-\frac{t}{\tau_{rise}}} \right)$$

## Approccio euristico

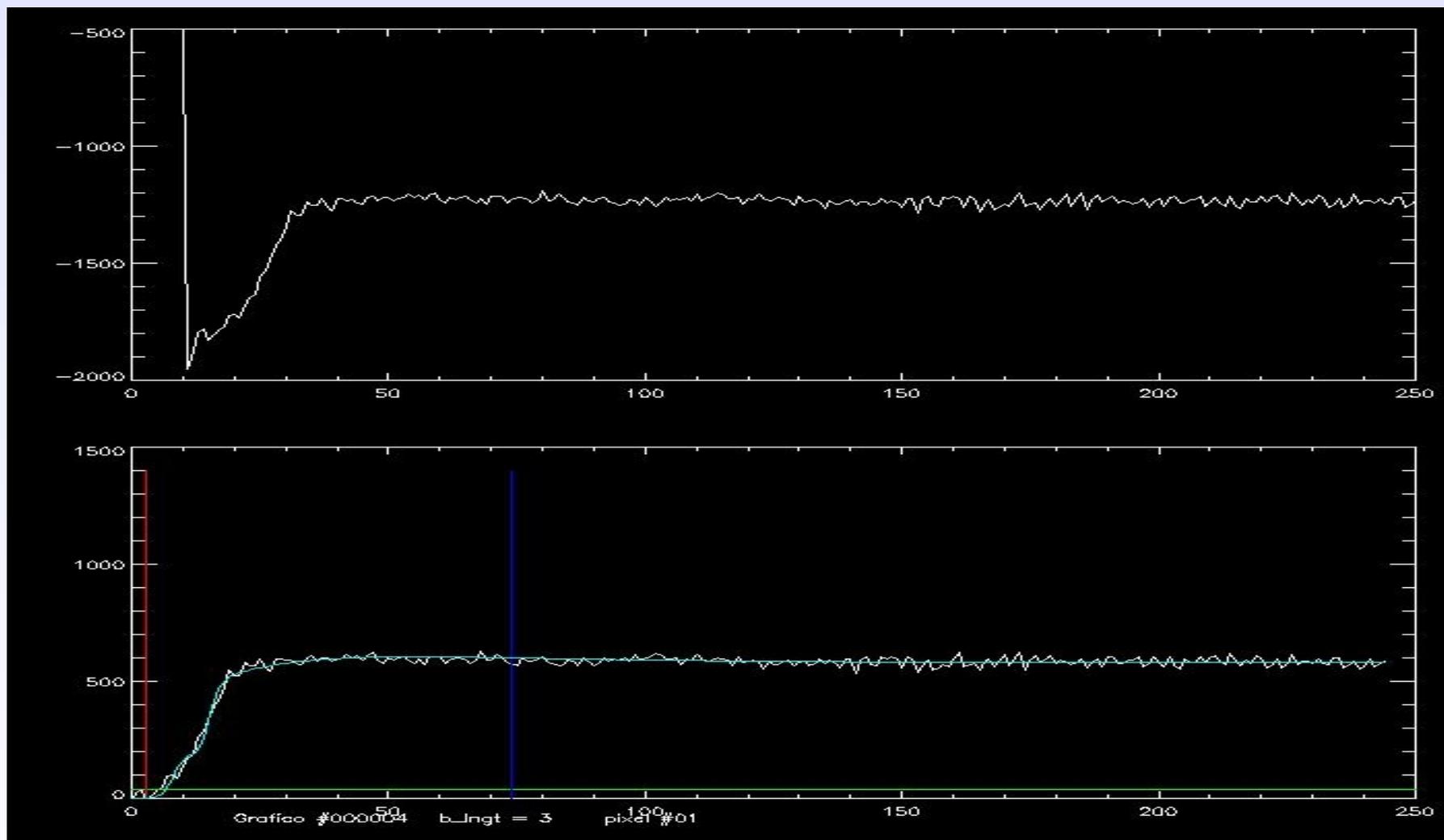
La difficoltà di ottenere fit validi a partire dalla descrizione del modello matematico, mi ha spinto a tentare una soluzione euristica, vale a dire a partire da una funzione che fittasse i segnali e ne permettesse una valida elaborazione. La funzione che meglio risponde a questi requisiti è la seguente:

$$f(t) = a_0 + \left[ \frac{a_1}{1 - e^{(a_2 - t)}} \times \frac{1}{e^{\frac{t}{a_3}}} + \frac{a_4}{1 - e^{(a_5 - t)}} \times \left( 1 - \frac{1}{e^{\frac{t}{a_6}}} \right) \right]$$

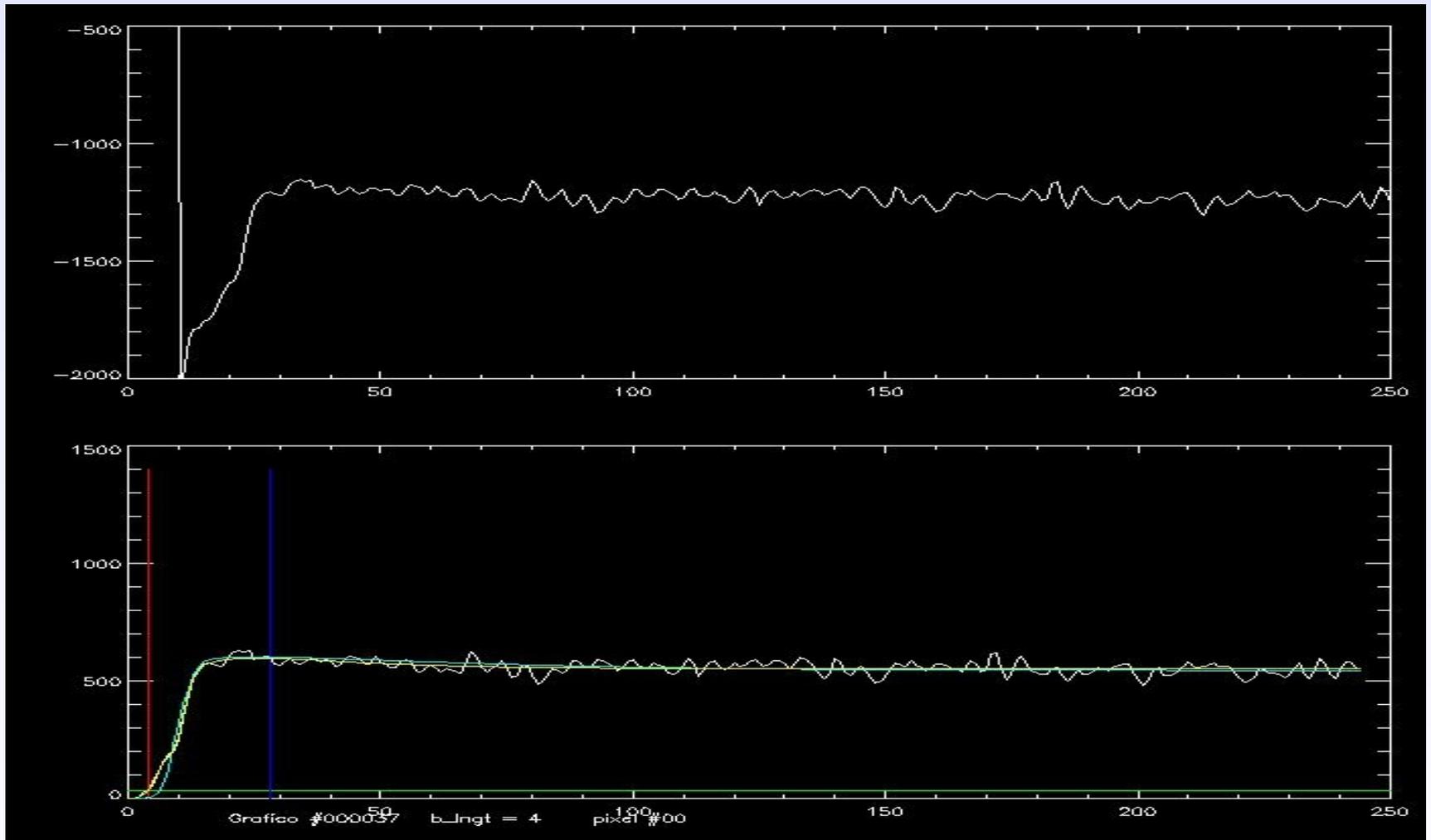
# I segnali



# I segnali



# I segnali



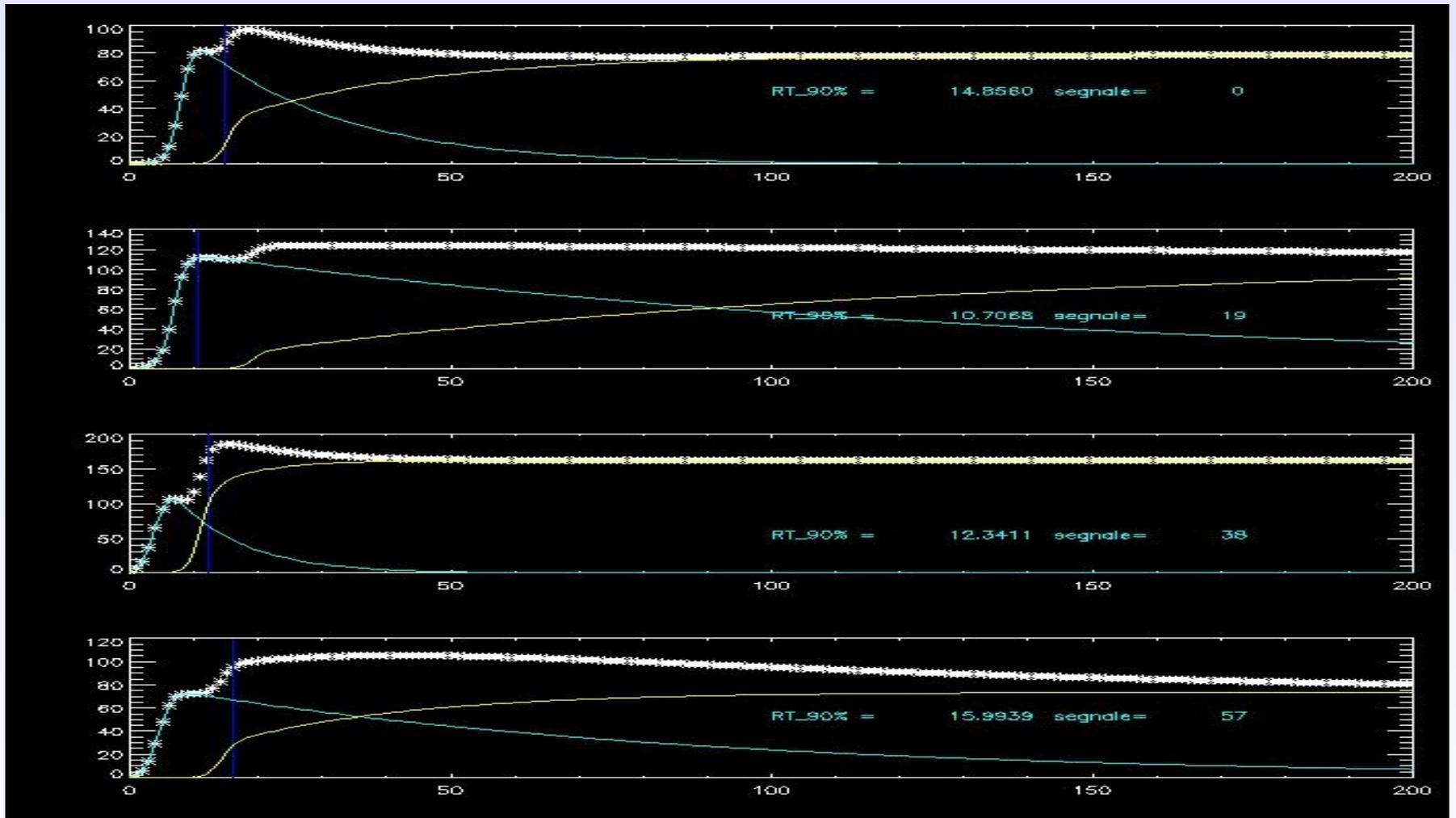
## Considerazioni statistiche

Le operazioni di lettura segnale devono essere inizializzate dal segnale stesso per ridurre al massimo il rumore su tutti i canali.

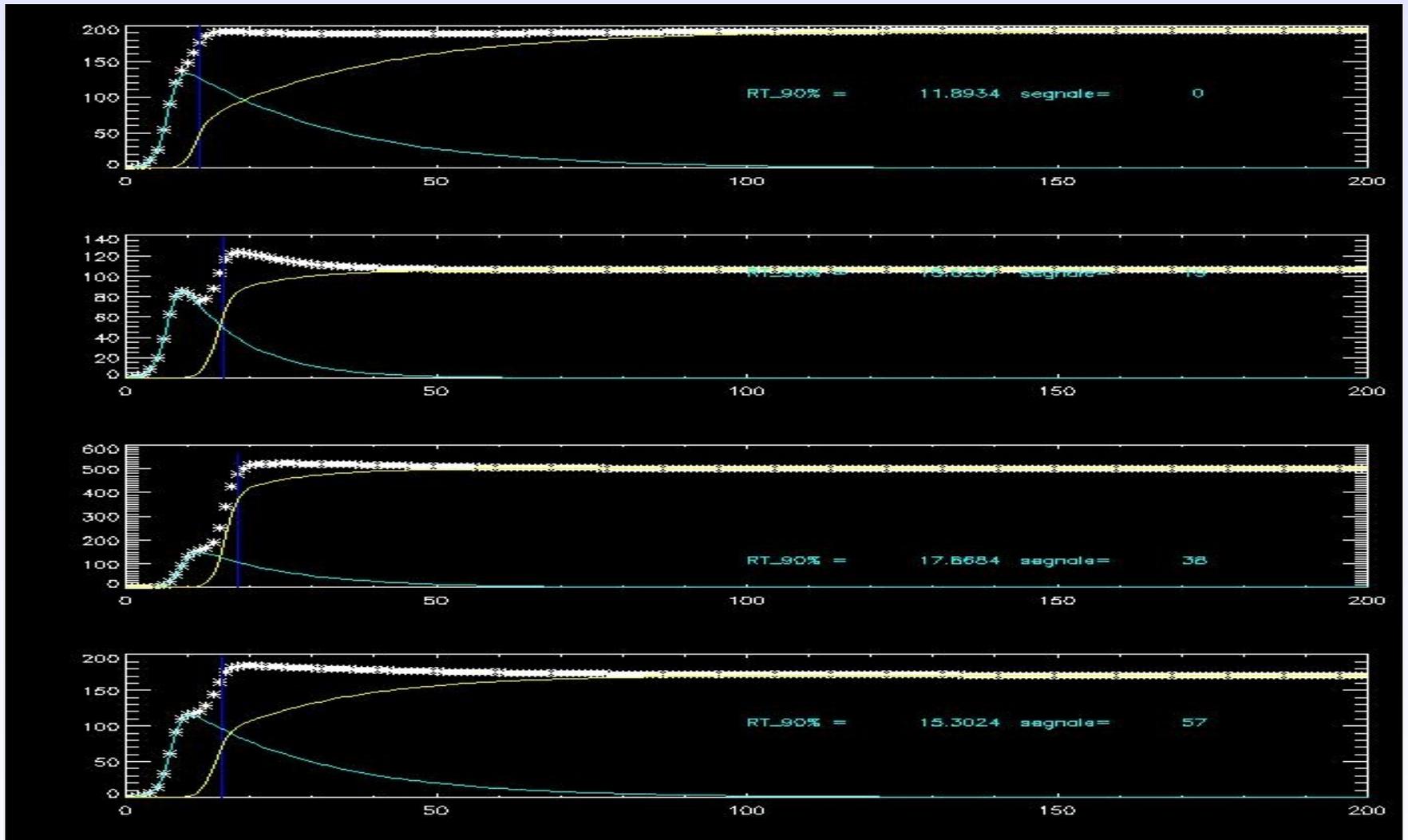
Questo comporta la necessità di ritardare il segnale per avere tempo al trigger di essere formato poste sul segnale

Statistica	08_09_08	08_09_08	08_09_08
	57Co	Ba133	AM241
letti	9999	9999	9999
inconsistenze	177	1403	27
estratti	9822	8596	9973
di cui:			
singoli	921	7827	9912
doppi	604	680	61
triplici	5	77	0
quadrupli	2	12	0
dei singoli:	9211	7827	9912
<u>flat</u>	0	143	57
<u>glitch</u>	18	205	390
validi	9193	7480	9466
<u>bad_fit</u>	30	326	400
buoni	9164 (99.7%)	7154 (95.4%)	9066 (95.6%)
di cui:			
<u>short_base</u>	572	1752	3349

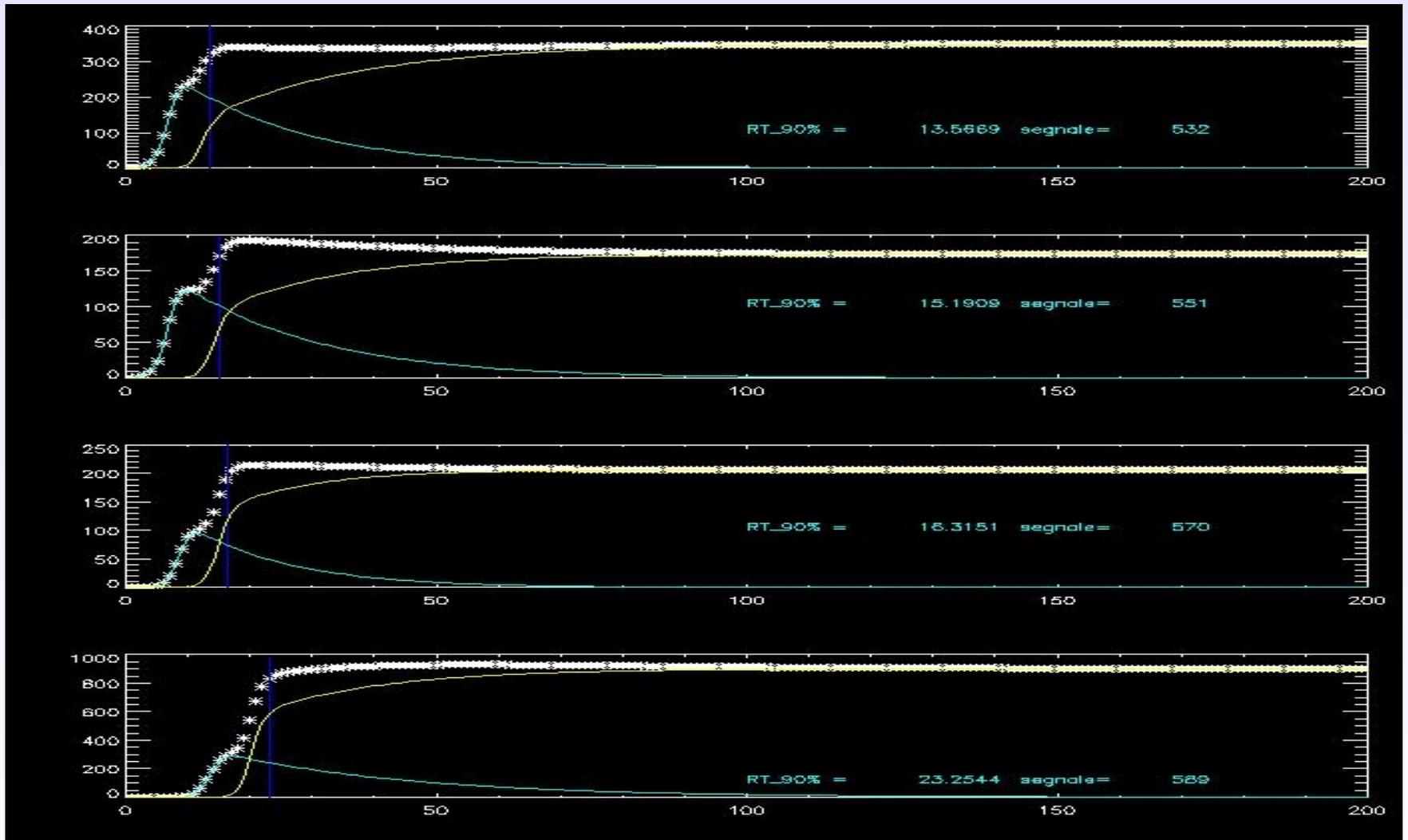
## Le componenti



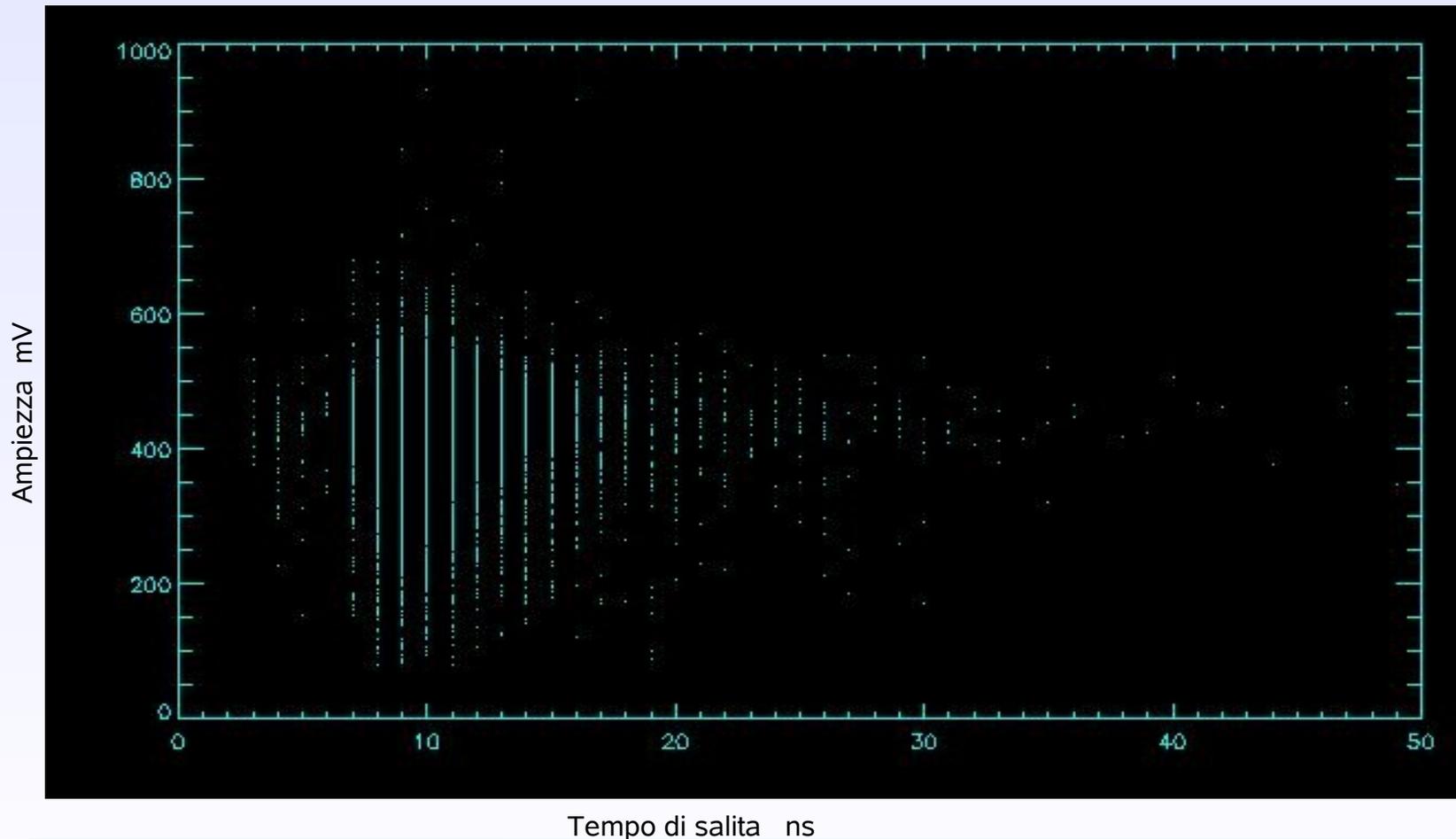
# Le componenti

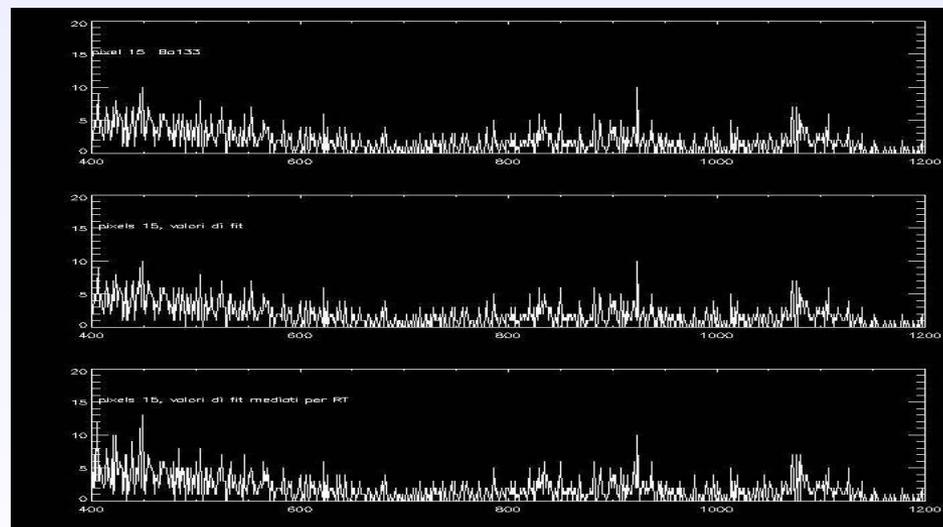
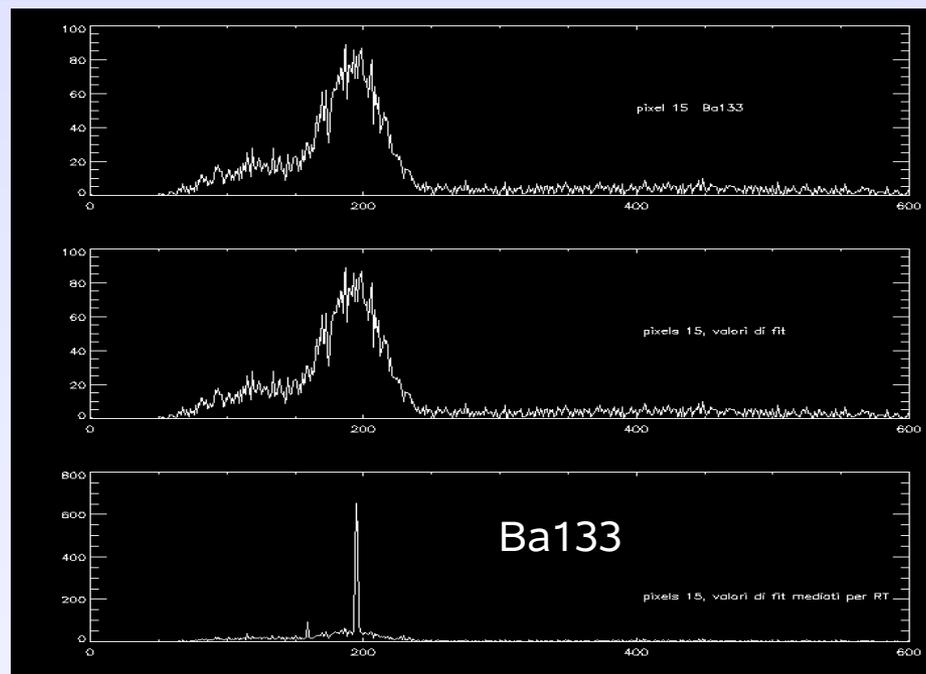
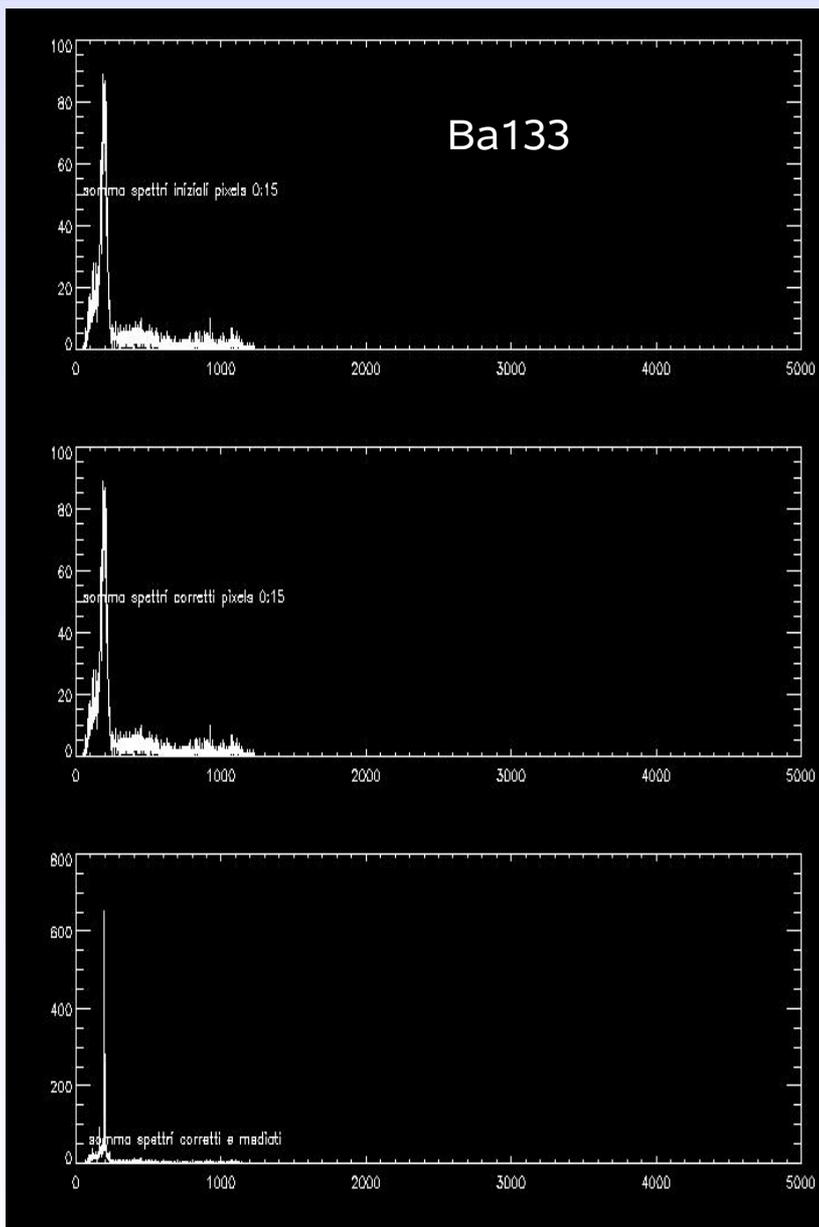


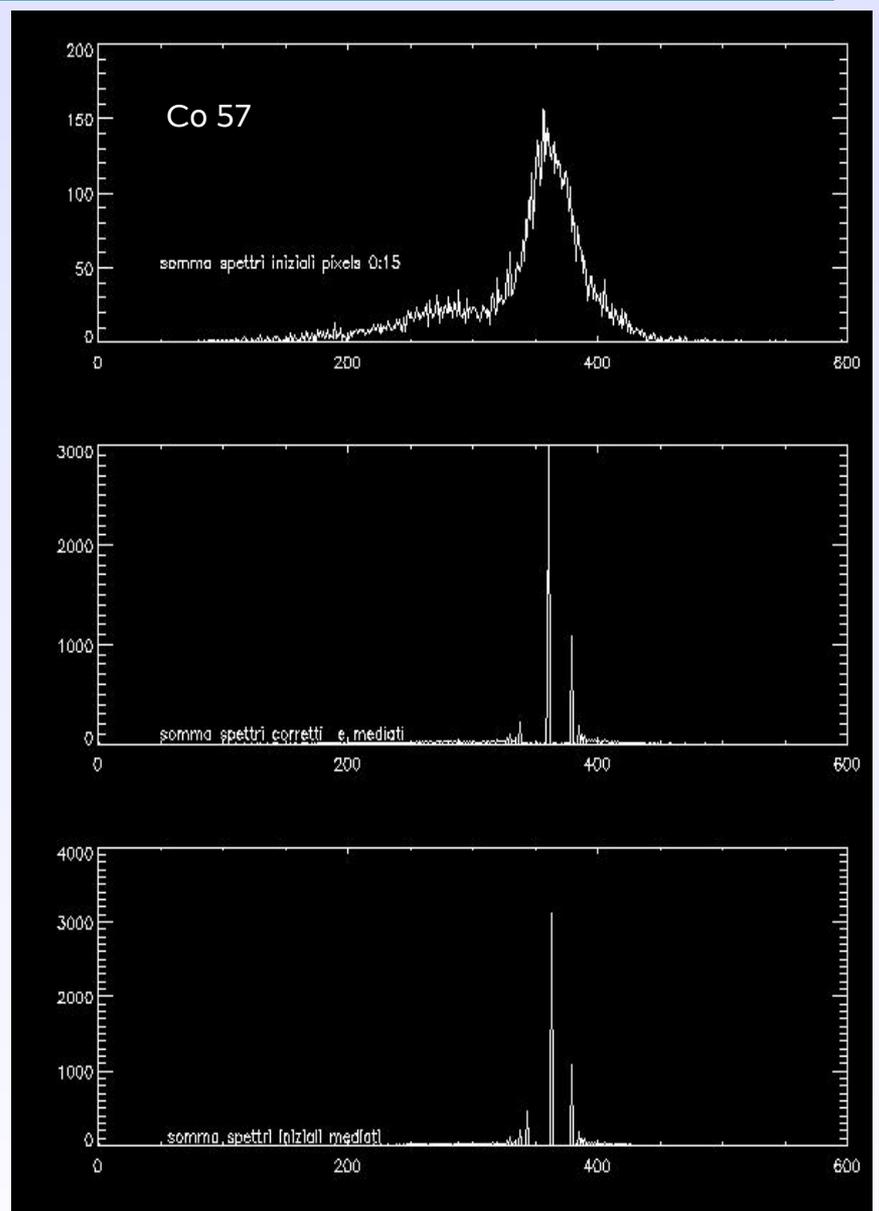
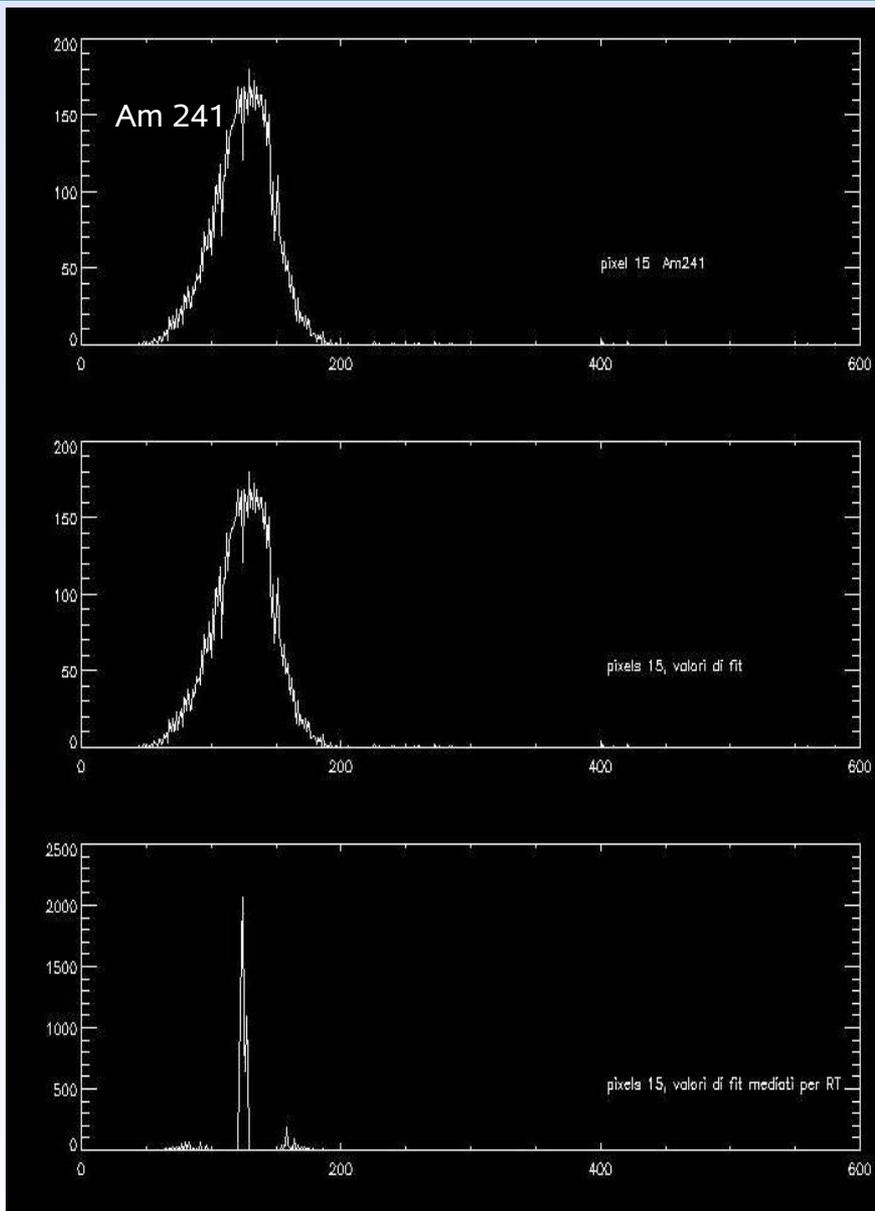
## Le componenti

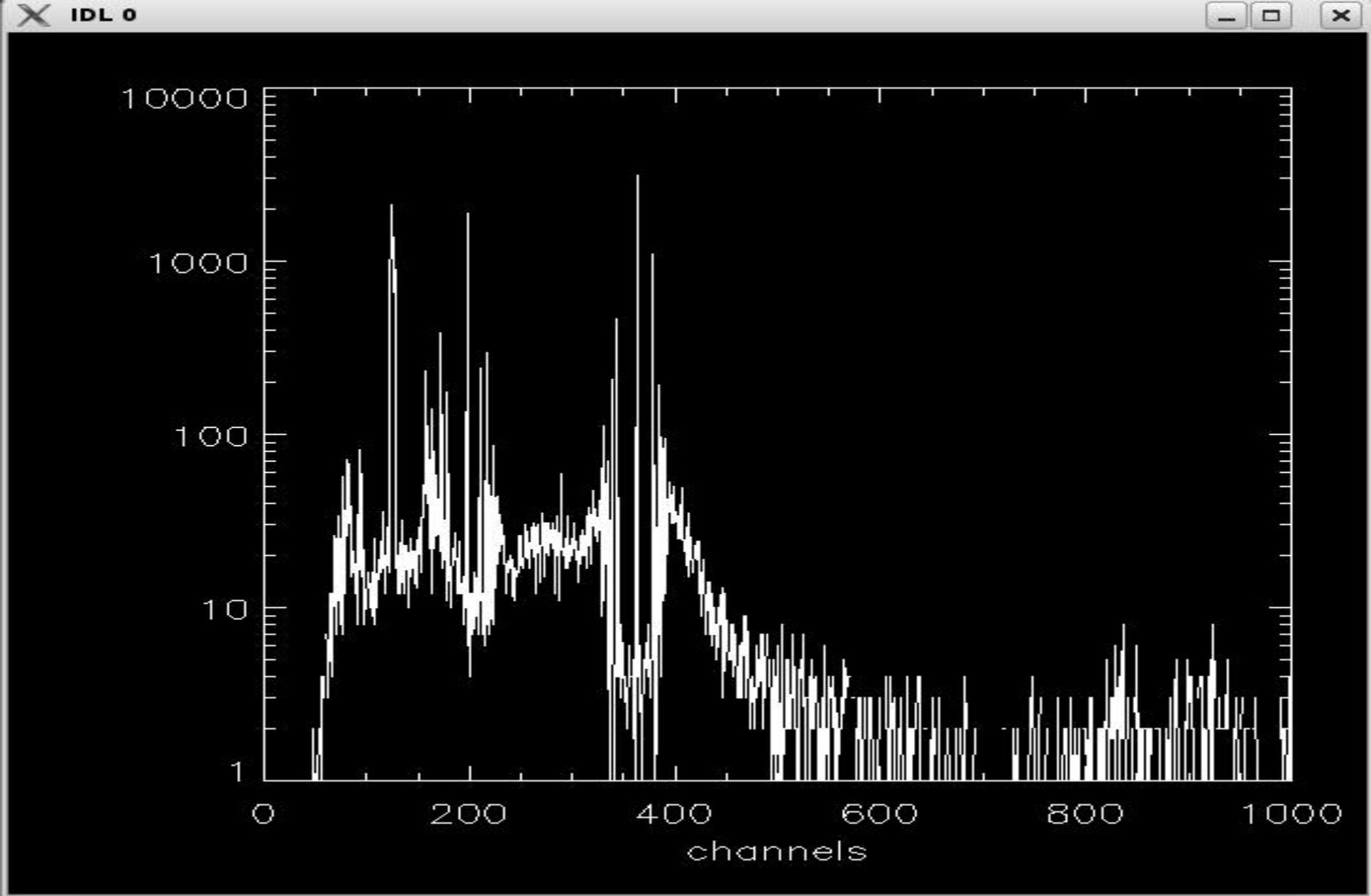


Classificazione delle ampiezze in funzione del Tempo di salita.  
Ricerca del baricentro di segnali “affini”.  
Definizione dei parametri di scelta caratteristici del singolo pixel









## CONCLUSIONE

A questo punto noi disponiamo di un modello matematico credibile e di una funzione di fit valida.

Ovviamente entrambi sono ancora “sotto osservazione” e dovranno superare varie prove.

Dai parametri della funzione di fit non è immediato arrivare a  $Q_s$  e  $x$  ma, lo studio delle componenti e la loro separazione temporale, potrebbe essere d'aiuto

Io sono confidente che insistendo sul modello si arriverà a capire il perché delle differenze con la funzione “euristica”. I due non possono essere troppo scollegati, l'uno perché parte da considerazioni di fisica dello stato solido, l'altra per l'evidente correlazione con i fenomeni in studio

*Disse alla noce il bruco, dammi tempo che ti buco*

# Migliorare la qualità di immagini e spettri tra 10 e 1000 keV ed oltre

